

농식품 공정 최적화 시뮬레이션: 시뮬레이션 소프트웨어 적용 리뷰

서영욱*, 박종률, 김기영
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Agri-Food Processing and Supply Chain Optimization Simulation: A Review of Simulation Software Applications

Youngwook Seo*, Jong-Ryul Park, Giyoung Kim
Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

요약 중소규모의 농식품 제조업체의 가공 및 유통 공정은 과학적이고 체계적인 기술이 도입되지 않아 제품 생산 효율이 낮은 경우가 많다. 이미 자동차, 금융, 항공, 생명공학 등 다양한 분야에서 공정 최적화, 생산성 향상을 위해 적용되어 온 시뮬레이션 기술은 최근 식품 제조공장의 생산효율을 높이기 위한 공정 최적화 연구에도 적용되기 시작하였다. 농식품 가공 및 유통 공정에 시뮬레이션 기술을 적용하면 다양한 시나리오를 가상 공간에서 시연하면서 생산 비용과 시간을 줄일 수 있는 최적의 공정을 예측할 수 있게 도와준다. 농식품 제조업체의 가공 및 유통 공정에 시뮬레이션 기술을 적용하는 연구들은 대부분 중소규모의 농식품 생산업체가 많은 개발도상국을 중심으로 수행되었으며, 곡물 저장, 제빵, 식용 오일 생산 및 농산물 유통 등 다양한 분야를 대상으로 수행하였다. 이들 연구에서는 많은 경우 ARENA 등의 상용 제품을 시뮬레이션 모델 개발 및 예측 도구로 활용하였으며, CPN (colored petri net) 등의 오픈소스 기반의 소프트웨어도 다양하게 사용되고 있는 추세이다. 또한, 예측한 결과를 최적화하기 위해 마코프 결정 과정, Delmia Quest, 반응표면법을 적용하기도 했다. 농식품 제조공정에 대한 시뮬레이션 기술 적용은 추후 사물인터넷, 빅데이터 등의 정보기술을 활용하여 표준 공정 개발 및 유통 공정 최적화를 이룰 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Small and medium-sized agri-food producers may start their business without any help from advanced technology to optimize product processing or distribution. So, they are prone to have relatively low production efficiencies. However, automobile production, banking system, the aviation industry, and biotechnology companies have already adopted simulation technology for a long time. Along these lines, the agri-food industry has also begun applying simulation technology to increase production efficiency and optimize processing. Particularly, this study introduced the research on processing optimization and proposed alternative suggestions for the agri-food processing and distribution industry, using the discrete event simulation method. Several underdeveloped countries have small and medium-sized agri-food production and processing companies that have reported the results of research on crop storage, bakery, edible oil production, and supply chain using simulation techniques. This study used commercial software such as ARENA to develop and predict an optimized procedure and advance the related research. Also, recently, open-source software such as colored Petri net (CPN) has been used as an alternative tool for modeling and optimization. This study also used the Markov decision process, Delmia Quest, and response surface method (RSM) to optimize the developed and predicted results. Finally, we note that the discrete event simulation can collaborate with information technology, the internet of things (IoT), big data, and artificial intelligence (AI) to perform a standard processing and supply chain optimization.

Keywords : Agri-Food Processing and Distribution, Optimization, Simulation, Software, Standard Processing

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사업(PJ01470602) 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Youngwook Seo(National Institute of Agricultural Sciences)
email: yws25@korea.kr

Received October 28, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised December 1, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

1.1 이산 사건 시뮬레이션

시뮬레이션(simulation)이란 컴퓨터를 이용하여 현실 시스템의 거동을 가상으로 유추하고 흉내 내는 일련의 과정을 말하며 모의실험이라고도 불린다[1]. 시뮬레이션은 주로 개별 개체(entity)를 기반으로 공정 모델링을 수행하게 된다. 시뮬레이션에서 말하는 개체를 은행에서는 고객, 공장에서는 제품 제작에 사용되는 원재료로 설명할 수 있다. 은행이나 공장의 공정을 최적화하는 이유는 보유한 자원(인적 혹은 물적자원)을 효율적으로 사용하여 공정상 문제점을 해결하기 위한 것이다. 공정 최적화 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 개체별 공정상 거동을 예측하는 이산 사건 방식을 활용할 수 있다. 이산 사건 시뮬레이션(DES: Discrete Event Simulation)은 사건 발생에 따른 공정상 변화 상태를 추적하고 모니터링하는 것을 말한다[2]. DES는 각 공정에서 개별 사건이 발생하는 경우를 분석하여 시스템의 특징을 파악하는 것이 가능하다. 또한, 처리속도가 빠르다는 장점도 가지고 있다[3]. 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 컴퓨터 언어로 작성된 시뮬레이션 엔진이 필요하다. 사용되고 있는 시뮬레이션 소프트웨어는 상용제품과 오픈소스로 구분할 수 있으며 상용소프트웨어의 경우 ANYLOGIC (The AnyLogic Company, www.anylogic.com), ARENA (Rockwell Automation, www.rockwellautomation.com), EXTENDSIM (Image That Inc., www.extendsim.com), FLEXSIM (FlexSim Software Products, Inc., www.flexsim.com) 등이 있다. 누구나 비용을 들이지 않고 사용할 수 있도록 공개된 오픈소스 제품으로는 Petri nets(cpntools.org), SIMPY (simpy.readthedocs.io), SYSTEMC(accelera.org) 등이 있다. 오픈소스 시뮬레이션 소프트웨어에 관해 더 자세한 내용은 Dagkakis & Heavey의 참고문헌을 참고하면 자세한 도움을 얻을 수 있다[4]. 상용 소프트웨어의 경우 사용자 편의를 위해서 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: Graphic User Interface)를 제공하고 있으며, 이산 사건 및 연속 공정에도 사용할 수 있는 유연성을 특징으로 하고 있다. 오픈소스의 경우 Java, Scala, C++, Python 등의 언어로 제작되었으며 사용자가 프로그래밍을 할 수 있도록 라이브러리 형태로 기능을 제공하고 있다.

1.2 이산 사건 처리 소프트웨어를 사용한 농식품 가공 공정 시뮬레이션

우리나라는 농업 생산품 판로 다각화를 위하여 기업에

서 농산물 수출 활성화를 위한 수출농산물 공급사슬관리(SCM: Supply Chain Management)를 도입하고 있다. 이는 유통 효율화, 물류비용 절감 및 농식품 산업 공급사슬을 생산(가공), 저장, 유통 등 상품의 공급 전과정에서 발생할 수 있는 문제를 효율적으로 해결하는 것을 목적으로 하고 있다. 도입된 공급사슬 관리체계는 시뮬레이션을 통해서 가상으로 시설 최적화 및 동선 최적화를 계산하여 현실에서 시간과 비용을 절감할 수 있다. 본 논문에서는 농식품 분야에 적용된 생산, 가공, 유통, 저장 등 다양한 공급사슬 과정에서 발생할 수 있는 문제들을 시뮬레이션을 통하여 해결 대안을 제시하는 연구를 소개하고자 한다. 2.1 절에서는 농산물 생산 및 가공과 관련된 연구를 소개하고, 2.2 절에서는 식품 생산 과정에서 발생할 수 있는 여러 문제점을 해결하고 생산성 향상을 달성한 예를 소개한다. 2.3 절에서는 농식품 유통과정 효율화를 위한 시뮬레이션 연구 결과를 정리하였으며, 결론에서는 효과적인 시뮬레이션 연구를 위한 제언을 소개하였다.

2. 본론

2.1 농식품 가공 공정 최적화

국내에서 농식품 가공 공정에 시뮬레이션을 활용한 사례는 곡물 및 사료 공정이 대표적이다. 특히, 곡물의 경우는 건조 및 저장 시스템에 관한 공정 시뮬레이션 연구가 수행되었다[5,6]. 사료의 경우는 완전혼합사료(TMR) 제조 공정을 연구한 결과가 발표된 바가 있다[9]. 미국중합처리장(RPC: Rice Processing Complex)은 수확한 미곡을 탈피, 정선, 건조, 저장하는 일련의 과정을 수행하는 시설이다. 입고된 미곡의 가공 및 저장 과정에서 사용된 기계의 성능을 대입하여 RPC에서 처리할 수 있는 미곡 양을 예측하는데 사용할 수 있다. Jung 등은 RPC에서 미곡 도정 시스템을 SLAMSYSTEM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다[5,6]. 1995년 현재 국내에 도입된 RPC의 경우 1일 20톤 가공을 기준으로 설계되었는데 대부분 외국 설비와 기술에 의존하고 있는 실정이었다. 이것을 국산화하기 위해서 주요 장치의 활용도 및 생산량 등을 예측할 수 있는 소형 미곡 도정 시스템의 설계 최적화를 목표로 수행되었다. 도정 시스템 공정 모델은 원료의 흐름, 정체량, 정체시간, 시간당 생산능력, 기계의 활용도, 도정수율 등으로 제작하였다. 공정을 토대로 제작한 모델 시뮬레이션은 5회 반복하여 수행하였다. 현미 분리율을 50%, 60%, 70%에 따라서 결과를 도출하였

다. 현미 분리기의 효율이 60%일 경우 원료 정제 시간이 가장 짧은 것으로 보고하였다. SLAM 소프트웨어[7]를 이용하여 쌀엿 제조 공정 및 시스템을 분석하고 문제점에 대한 대안을 제시한 연구도 발표가 되었다[8]. 쌀엿 가공 공정의 경우, 쌀엿 제조공정을 침지 → 찌반 → 맥아 분쇄 → 맥아효소 추출 → 혼합 및 교반 → 압착 → 1차 증발(조청제조) → 저장 → 2차 증발(강엿) → 기계적 반죽 치대기 → 절단 → 포장 순으로 정리하고 과정별 사용 기계와 처리량을 조사하여 시뮬레이션 모델 개발에 적용하였다. 또한, [9]에서는 사료 가공 공정의 경우, 국내산 조사료가 포함되지 않은 완전혼합사료(TMR: Total Mixed Ratio) 일관 조제를 위한 농가형 소형 플랜트 개발을 목적으로 기계 형식-용량 설정, 작업공정 및 배치도 설계, 제어시스템 설계 등에 관한 시뮬레이션 연구를 보고하였다. 모델링은 ARENA V12.0을 이용하였고 제작된 모델은 제작된 기계 시스템으로 가동시험 및 특성 분석을 수행하였다. TMR 사료 처리를 위해 고려한 기계

설비는 반입·세절기, 배합기, 포장기, 반송기로 구분하였고 원료의 저장부터 포장 작업까지 작업공정을 설계하였다. 개발된 모델을 바탕으로 기계설비 및 공정을 최적화하여 생산량과 소요시간 등에 대한 결과를 얻었다.

해외에서 농식품 가공 공정 최적화를 위해 시뮬레이션을 적용한 사례도 확인하였다. 어류 가공공장의 시뮬레이션[10], 소시지 가공공장 공정 최적화[11], 육류 가공공장의 모델 개발[12], 및 식품 가공공장의 생산계획 수립[13] 등이 발표되었다. 말레이시아의 스낵 제조 공장은 주로 규모가 작다. 작은 식품 가공 회사들의 공통적인 문제점은 쓰레기 처리 문제이다. 이 문제를 해결하기 위한 대안으로 가치흐름지도(VSM: Value Stream Mapping)와 시뮬레이션을 활용하였다. XYZ라고 명명한 공장의 공정을 6단계로 나누었다. 예를 들어, 박피, 크기 선별은 첫 번째 단계, 절단은 두 번째 단계, 정선 및 석발은 세 번째 단계, 튀김은 네 번째 단계, 냉각 및 크기 선별은 다섯 번째, 마지막 단계는 포장이다. 이 회사에서 가장 많은 인력을 요구하는 작업은 박피 과정이다(47.6%). 다음은 튀김과 포장으로 각각 14.2%를 차지한다. 가용한 기계는 튀김기, 절단기, 이송벨트, 건조기 및 포장기이다. VSM을 ARENA와 결합하여 공정을 분석하고 쓰레기를 줄일 수 있는 공정상 대안을 제시하였다[14].

2.2 농식품 생산 공정 최적화

식품 생산성 향상을 위하여 생산 공정 최적화 연구가 발표되었다. 국내에서는 김치[15]가 대표적이며, 해외에서는 주로 빵[16, 24], 식용 오일[17, 22, 23], 우유[18], 피자[19] 등의 생산에 관한 연구가 발표되었다. [15]는 김치 공장 공정 중 노동력 집약적인 관행 작업을 시뮬레이션을 활용하여 파악하고 개선할 목적으로 수행되었다. 김치 제조 공정 중 절임 공정이 가장 노동 강도가 높은 작업으로 상정하고 절임 공정을 분석하였다. 분산분석(ANOVA)을 통하여 공정 인자간 유의성을 분석하고, 반응표면법(RSM)으로 유효한 공정 인자 범위 설정을 시도하였다. 시뮬레이션을 위해서 수집한 절임용 설비, 작업 시간 등의 데이터를 기반으로 AS-IS 시뮬레이션 모델을 구축하고, 병목 원인을 구명하였다. 식품 공정 산업에서 공정 최적화는 수요 맞춤과 품질 유지의 균형점을 찾는 주요 의사 결정 과정이다. 논문에서는 사우디아라비아의 러스크(빵 종류) 생산 라인에서 생산성과 관련이 있는 공정을 분석하고 다양한 대안을 제시하였다. 병목현상 해소, 공정별 기계 사용률 향상, 대기 시간 감소 등 시뮬레이션을 통해 다양한 문제 해결 방안을 제시하였으며 이

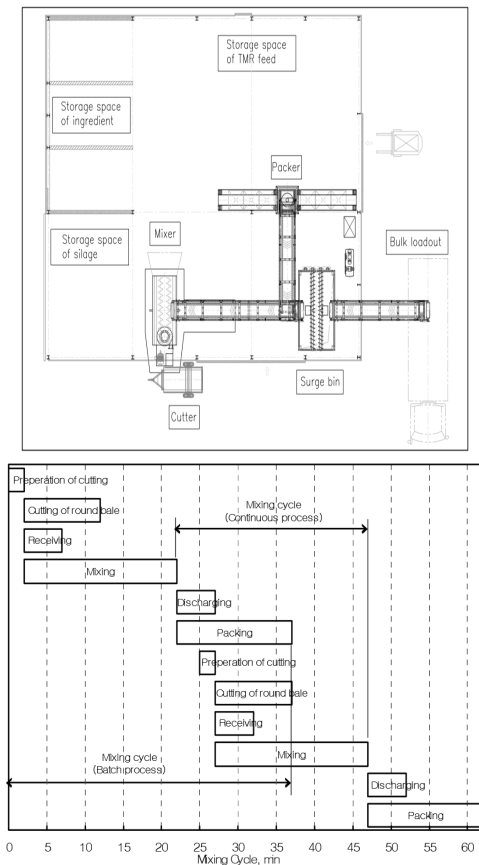


Fig. 1. Small TMR(Total Mixed Ratio) plant simulation model and results [9].

를 통해 생산 50% 향상, 평균 소요 시간 11.4% 감소 등을 성취할 수 있었다[16]. Petri net 소프트웨어를 이용하여 올리브 오일 생산 공장의 설계 및 운영 향상을 위한 의사 결정 지원을 목적으로 연구를 수행하였다[17]. [18]에서는 우유 가공 공정을 네 단계로 나누어 공정 분석 및 최적화 시뮬레이션을 Petri nets를 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 크림 분리기, 균질기, 살균기, 충전기가 고장이 나거나 수리되었을 경우에 소요된 시간을 예측하는데 사용되었다. 사고의 경우는 와이블 분포(Weibull distribution)를 사용하고, 수리의 경우는 지수 분포(Exponential) 모델을 적용하였다. 각 공정별 효율 분석은 반응표면법(RSM)을 활용하여 비교하였다. 제안한 설비 유지보수 순위는 충전기 → 살균기 → 균질기 → 크림 분리기 순이었다.

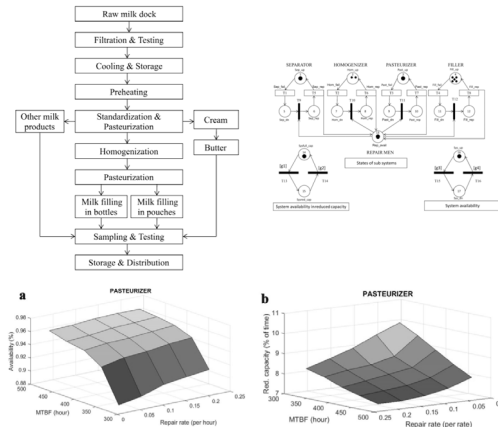


Fig. 2. Milk processing simulation is based on Petri nets and uses surface response method to compare optimization results [18].

[19]에서는 말레이시아의 중소 피자 생산 업체를 선정하고 생산 과정을 ARENA를 활용하여 시뮬레이션하고 대안을 제시하였다. 실제 공장의 공정별 시간을 측정하고 시뮬레이션 결과와 비교하기 위하여 다음의 식을 사용하였다.

$$D_{PA}(\%) = \frac{|P_{out} - D_{act}|}{|D_{act}|} \quad (1)$$

식(1)에서 예측결과(P_{out})은 시뮬레이션 결과로 나온 예측치를 말하며, 실측 데이터(D_{act})는 공정별 기계운영 시간을 측정한 결과이며, 예측치와 실측치의 차이는

D_{PA} 로 표현하였다. 시뮬레이션 모델은 피자 도우와 토핑 제조 공정을 개별적으로 개발하였고 개발한 모델은 각각 10회씩 반복 수행하였다. 피자 도우 제조 공정에서 실제 공정과 시뮬레이션 결과를 소요시간과 생산량으로 평가했을 때, 실체는 300개, 6.5시간에서 시뮬레이션 결과는 326개, 6.5시간으로 8.6%의 차이를 보였다. 10% 내외의 오차는 모델의 정확도를 용인할 수 있는 결과이므로 모델 검증은 확인하였다. 피자 토핑 제조 공정은 set 1은 인력을 3명, set 3은 인력 4명을 6.5시간 작업 결과 생산량 313에서 329로 5.1% 증가한 결과를 보였다. 인원이 보충되었지만 생산량이나 기계 작업 능력 향상에 여지가 있음을 알 수 있는 대목이다. [20]에서는 시뮬레이션 소프트웨어 FlexSim을 사용하여 종이 가방을 생산하는 인도네시아 중소기업체를 대상으로 공정 최적화 연구 결과를 발표하였다. 이산 작업 일자는 30일로 하고 5개의 공정별로 작업시간을 측정하였다. [21]에서는 터키 국민들의 육류 수요가 증가하면서 발생하는 수요와 공급 불균형 문제를 해결하기 위해 육류 가공 업체의 생산량 증가를 위한 네 가지 시나리오를 제안하였다. 상용 시뮬레이션 소프트웨어인 ARENA를 사용하여 이스탄불에 소재한 소시지, 살라미 육가공품 생산업체 공정을 분석하였다. 가공 공정은 원재료 도착 → 고기 준비(다짐, 혼합) → 충전 → 숙성 및 구이 → 냉각 → 포장 순으로 구분하였다. 시나리오-1은 동일 생산일에 동일 육류(닭, 칠면조 등)만 생산하는 기존 방식을 벗어나 모든 라인에서 생산량을 최대화하고 이송 및 반제품 생산을 최소화한다는 전략이다. 기존의 주문 대비 생산량은 87%에 반해, 제안된 방법으로는 6.6% 향상된 결과를 보였으며, 포장 공정에서는 32%가 향상되었다. 말레이시아 팜 오일 공장에서는 작업시간, 처리용량 및 과일 이용률에 따라 비용, 기계 효율 및 활용 유연성에 영향을 끼치는 것으로 보고되었다[22]. 투입-생산 최적화 모델을 경제성 최대화를 위한 최적화를 시도하였고, 개발된 모델로 기계 활용도를 연구하기 위해 적합 운영 범위 분석을 수행하였다. 팜 오일 생산 공정을 분석하고 생산 극대화를 위한 공정 최적화를 수행한 결과 공정에 필요한 과정을 39개에서 26개로 단축하였고, 26%의 경제적 이득을 달성하였다. 유사한 연구에서는 ARENA 소프트웨어를 활용하여 말레이시아 팜 오일 공장의 처리량 해소를 위한 대안을 제시하였다[23]. 독일의 제빵 산업의 경우에도 공정 최적화에 관한 연구가 발표되었다[24]. 15,800여 개의 회사에서 135,000여 명의 피고용자가 관여되어 있으며,

매년 천오백만 유로의 수익을 창출하는 큰 시장이다. 이런 큰 산업의 생산성 향상은 생산비 절감 및 에너지 소비 절감으로 이어지면서 이윤 극대화로 직결될 수 있다. ARENA (Ver.11.0)를 이용하여 8개의 기계를 사용하는 10단계를 거치면서 빵을 만드는 과정을 시뮬레이션을 수행하였다. 다른 연구에서는 제빵 과정을 크게 혼합, 숙성, 롤링, 절단 및 굽기 과정으로 나누고 50, 100, 150, 200 kg의 재료를 이용하여 제빵 공정에 소요되는 시간 [25], 태국 커피 산업의 비용 절감 및 생산 효율성 향상을 통한 경쟁력 제고를 위한 가상 공장 시뮬레이션을 수행한 연구[26] 등이 발표되었다.

2.3 농식품 물류 유통 최적화

국내 농산물 물류 유통에 관한 연구는 활발하게 진행되고 있다. 대표적으로 국내 농식품 물류 산업의 중추적인 역할을 하는 가락시장의 유동인력 및 물류 동선에 대한 시뮬레이션을 적용하여 가락시장 현대화 사업에 적용하였다[27]. 연구는 주차동선을 중심으로 병목지점 파악, 물류이동 문제점 분석으로 운영자와 설계자에게 대안을 제시하였다. ARENA V.14를 활용하여 수직 물류 프로세스, 수평 물류 프로세스, 층별 차량동선 및 주차계획을 기반으로 주차동선 시뮬레이션을 수행하였다. 실험은 판매자별로 배당받은 주차면수의 정도에 따라 4가지 시나리오로 수행하였으나 시장 환경의 특성상 임의 동선을 정확하게 예측하기 어려운 점 때문에 제약이론을 활용하여 모델링할 것을 권고하였다. 함정의 제한된 공간 내에서 많은 사람들이 정해진 임무의 성공적인 수행을 위하여 시간 관리는 중요하다. [28]에서는 비혼련 상황 시 함정의 배식 중 퇴식대기 시간을 줄일 수 있는 방안을 시뮬레이션하기 위해 DELMIA QUEST (Queuing Event Simulation Tool)을 사용하였으며 반응표면법(RSM)을 이용하여 최적화하였다. 조사는 88명의 총 인원을 4개조로 구성하여 각 조별로 식사 시간 이동 및 대기 시간을 측정하였다. 식사 단계를 식판 수령 시간, 식사 시간, 퇴식 시간, 평균 이동 시간, 배식 시간, 음수 시간 등으로 나누었고 그중 배식 시간과 음수 시간은 와이불 분포(Weibull distribution)를 따르고 나머지 시간은 정규분포를 적용하였다. [29]에서는 식품 공급망의 전략적 공급 사슬관리(SCM)를 그리스의 수도 아테네에 위치한 물류센터와 식당(n=69)망을 가진 패스트푸드 식당 체인에 관한 모델링 연구를 수행하였다. 시뮬레이션 모델링을 수행하기 위하여 Powersim[®] 을 사용하여 코드를 작성하였다. 농식품 유통은 생산자에서 수집한 원료를 가공, 대

형 저장 시설을 거쳐 소매점으로 입점하게 되는데 단위 유통과정별로 복잡한 기술들을 접목하여 상품의 질을 유지하고 효과적으로 유통하기 위한 의사결정이 요구된다. 식품 유통망을 최적화하여 이윤은 극대화하고 유통 중 폐기하는 상품은 줄이는 방법을 수집된 빅데이터를 기반으로 마코프 결정 과정(Markov decision process) 모델로 시뮬레이션하여 제안하였다[30]. [31]에서는 IoT를 이용하여 최적 식품 추적 관리를 수행할 수 있는 기술을 연구한 결과도 발표되었다. 자동화, 비용 절감, 시스템 복잡성 줄이기를 위해 K-means와 SOM 방식을 사용하여 관리 방식을 개발하였으나 확장된 Petri net 알고리즘이 더 좋은 결과를 보였다. Mutton은 성체 양고기를 일컫는 말이며 어린양의 고기는 램(lamb)이라고 한다. 사물인터넷을 이용하여 양고기 이력추적을 K-means 방식과 Petri net 모델을 비교하였다[32]. 농식품 공급망 정보 모델 구축의 주요 목표는 상품의 안전성 요인과 품질 저하율을 바탕으로 환경 정보, 공정 및 품질측정에 관한 핵심 정보를 조직하는 것이다. 오픈소스 시뮬레이션 언어인 CPN을 이용하여 위협파악, 위험처리에 관한 모델을 만들고 그것을 바탕으로 신선 제품 유통에 관한 연구를 수행하였다. 품질 저하 경향, 위험 단계 처리, 의사결정 시스템을 세우고, 유통 시설을 유지하기 위해서는 환경 정보 수집, 정보 전달, 시간 제어, 온도 조절 등에 관한 엄격한 규범이 필요하다[33]. 과일이나 채소류의 콜드체인 물류센터를 대상으로 FLEXSIM을 활용하여 시뮬레이션을 수행하여 주요 시설과 작업자 동선을 효율화를 연구 목표로 삼았다. 논문에서는 콜드체인을 적용하는 세 가지 다른 상태의 상품을 제안했는데 item1은 단기 냉장이 필요한 상품, item2는 냉장 상품, item3은 냉동 상품을 상정하였다. 각 상품별 회전율은 item1의 경우 91.43%, item2는 88.24%, item3은 87.5%로 나타났다[34].

3. 결론

농식품 가공 및 유통 시설·공정 자동화 및 최적화에 적용된 시뮬레이션 사례를 살펴보았다. 객관적인 데이터와 과학적인 모델을 활용하여 예측하고 검증한 최적 모델을 실제 산업현장에 사용한 결과를 보고한 연구도 앞으로 진행될 수 있을 것으로 판단된다. 자동화, 최적화 등 가상의 조건으로 모델을 만들고 최적화하는 경우 실측한 데이터와 개발된 모델의 결과를 비교하게 되는데, 사용 중인 공정을 최적화하기 위해서는 제품 생산량, 시

간, 인력, 기계 규모 등 기초 자료를 정확하게 측정하여야 한다. 현실적으로 공정에서 소요되는 공정별 시간을 수기로 작성하고 있는데 대안으로는 카메라 및 IoT 제품을 주요 공정별로 부착하여 자동으로 측정하는 연구를 수행할 수 있다. 주로 영상장치를 이용하여 공정별 소요 시간 측정이 가능하고, 디지털 전력 측정 장치를 활용하여 공정별 기계 활용 측정이 가능하다. 수기로 측정하는 오차를 줄일 수 있고 자동으로 측정함으로써 개인의 판단이 개입되지 않도록 차단하는 효과 등으로 정확한 측정이 가능할 것으로 판단된다. 추후 ICT기술과 시뮬레이션을 결합하여 데이터 수집과 모델 검증을 자동으로 수행할 수 있는 연구가 수행될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] W. Kelton, R. Sadowski, N. Zupick, "Simulation with ARENA", 6th Edition, McGraw-Hill Education Korea, 2015.
- [2] D. Olson, Encyclopedia of Information Systems, 2003.
- [3] T. G. Kim, "Discrete event system modelling simulation technology", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol.19, No.1, pp.105-114, 1992.
- [4] G. Dagkakis, C. Heavey, "A review of open source discrete event simulation software for operations research", Journal of Simulation, Vol.10, pp.193-206, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1057/ios.2015.9>
- [5] J. H. Chung, B. G. Kim, Y. S. Choi, "Optimal design and development of a rice mill plant by computer simulation (I) - Simulation of a rice mill pilot plant", Agricultural and Biosystem Engineering, Vol.20, No.1, pp.47-57, 1995.
- [6] J. Chung, "Performance evaluation of rice mill plant by a computer simulation", Agricultural and Biosystem Engineering, 2(1), 7-14, 2001.
- [7] C. D. Pegden, A. Alan, B. Pritsker, "SLAM: simulation language for alternative modeling", Simulation, Vol.33, No.5, pp.145-157, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1177/003754977903300502>
- [8] J. Chung, C.-O. Rhee, "Simulation for improving the process of Korean traditional Rice-Yeot plant", Food Engineering Progress, 1(1), 29-34, 1997.
- [9] Y. S. Ha, D. H. Hong, K. K. Park, "Modeling of a small group scale TMR plant for beef cattle and dairy farm in Korea (I) - Development of TMR plant model", Journal of Biosystems Engineering, 34(5), 342-350, 2009.
- [10] E. Jonatansson, S.U. Randhawa, "A network simulation model of a fish processing facility", Simulation, 47(1), 5-12, 1986.
- [11] S.A. Shah, M.R. Okos, G.V. Reklatis, "Simulation modeling of a sausage manufacturing plant", Transaction of the ASAE, 26, 635-640, 1983.
- [12] S.A. Shah, M.R. Okos, G.V. Reklatis, "A SLAM based computer simulation model of a meat processing plant", Transaction of the ASAE, 28(5), 1698-1703, 1985a.
- [13] S.A. Shah, M.R. Okos, G.V. Reklatis, "Production scheduling in food processing plants", Transaction of the ASAE, 28, 2078-2082, 1985b.
- [14] N. Suhadak, N. Amit, M. Ali, "Facility layout for SME food industry via value stream mapping and simulation", Procedia Economics and Finance 31, 797-802, 2015, International Accounting and Business Conference 2015.
- [15] J.W. Park, D.Y. Kim, Y.J. Cho, "Simulation-based process improvement of a food manufacturing system", S9-2, pp.160-164, 2015, Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference.
- [16] S. Y. Abed, "A simulation study to increase the capacity of a rusk production line", WSEAS Transaction on Information Science and Applications, Vol.5, No.9, pp.1-10, 2008.
- [17] J.-I. Latorre-Biel, E. Jimenez-Macias, J. Blanco-Fernandez, J. C. Saenz-Diez, "Optimal design of an olive oil mill by means of the simulation of a Petri net model", International Journal of Food Engineering, Vol. 10, No.4, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2013-0066>
- [18] N. Kumar, P. Tewari, A. Sachdeva, "Performance assessment of milk processing system using Petri nets", SN Applied Sciences, Vol.2, No.1488, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03282-0>
- [19] A. Kasim, S. Bareduan, I. Masood, F. Ho, H. Abdullah, "Capacity study of a food processing company using Arena simulation software", Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering, Vol.2, No.1, pp.166-173, 2021.
- [20] J Sulistio and N. A. Hidayah, "Discrete-event system simulation on small and medium enterprises productivity improvement", Materials Science and Engineering, Vol.277, pp.012067, 2017.
- [21] S. Kiris and M. Unal, "Evaluation the preformance of the production line with simulation approach in meat processing industry : A case from Turkey", Alphanumeric Journal, Vol.8, No.1, pp.1-16, 2020.
- [22] S. Foong, V. Andiappan, R. Tan, D. Foo, and D. Ng, "Hybrid approach for optimization and analysis of palm oil mill", Processes, Vol.7, No.2, 100, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr7020100>
- [23] F. Binti, R. Bin, M. Tahar, N. B. Awang, "Evaluating capacity of palm oil mill using simulation towards effective supply chain-A case study", International Conference on Management (ICM 2011), 2011.

- [24] F. Hecker, W. Hussein, T. Becker, "Analysis and optimization of a bakery production line using Arena", International Journal of Simulation Modelling, Vol.9, No.4, pp.208-216, 2010.
DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM09\(4\)4.175](https://doi.org/10.2507/IJSIMM09(4)4.175)
- [25] O. Ganiyu, J. Hamed, A. Olaoluwa, A. Ganiyu, "Modelling and simulation of a bakery production line using Hierarchical Timed Coloured Petri Nets", International Journal of Computing and Digital Systems Vol.10, pp.2-10, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24306.32961>
- [26] W. Seranevijakithka, W. Parthanadee, J. Buddhakulsomsiri, "Production efficiency improvement: case study in roasted and ground coffee industry", Journal of Food and Agro-Industry, Vol.1, No.2, pp.105-115, 2008.
- [27] M. Park, "Comparison study on the moving line optimization in agricultural industry using simulation tools", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol.24, No.4, pp.163-170, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9709/JKSS.2015.24.4.163>
- [28] Z. Yu, E. Lee, W. Ruy, "A study of optimal groups-distribution plan using the simulation of food distributing operation in naval ship", Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol.24, No.2, pp.152-160, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7315/CDE.2019.152>
- [29] P. Georgiadis, D. Vlachos, E. Lakovou, "A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains", Journal of Food Engineering, Vol.70, No.3, pp.351-364, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.030>
- [30] A. Kappelman, A. Sinha, "Optimal control in dynamic food supply chains using big data", Computers & Operations Research, Vol.126, pp.105117, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105117>
- [31] S. Balamurugan, A. Ayyasamy, K. Joseph, "Enhanced petri nets for traceability of food management using internet of things", Peer-to-Peer Networking and Applications, Vol.14, pp.30-43, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12083-020-00943-0>
- [32] M.-N. Wu, Z.-X. Li, Y.-H. Zhang, F. Zhang, "Mutton traceability method based on Internet of Things", Journal of Sensors, 506580, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/506580>
- [33] L. Liu, X. Liu, G. Liu, "The risk management of perishable supply chain based on coloured Petri Net modeling", Information Processing in Agriculture, Vol.5, No.1, pp.47-59, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.001>
- [34] X. Zhu, R. Zhang, F. Chu, Z. He, J. Li, "A Flexsim-based optimization for the operation process of cold-chain logistics distribution centre", Journal of Applied Research and Technology, Vol.12, No.2, pp.270-278, 2014.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)72343-0](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)72343-0)

서 영 욱(Youngwook Seo)

[정회원]



- 2002년 8월 : 서울대학교 농업생명과학대학 공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 2017년 2월 : 충남대학교 농업생명과학대학 연구교수
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농식품가공기계, 농식품살균기술, 비파괴품질측정기술

김 기 영(Giyoung Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 농업기계전공 (농공학석사)
- 1995년 12월 : 미국 Virginia Tech, Dept. of Biological Systems Engineering (공학박사)
- 1997년 2월 ~ 2001년 3월 : 서울대학교 부설 농업개발연구소 특별연구원
- 2001년 4월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

농식품 안전성 신속진단, 바이오센서

박 중 룰(Jong-Ryul Park)

[정회원]



- 1999년 8월 : 경북대학교 대학원 농공학과 (농학석사)
- 1994년 7월 ~ 2004년 2월 : 농업기계화연구소 농업연구사
- 2004년 2월 ~ 2008년 9월 : 농업공학연구소 농업연구사
- 2008년 10월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농식품가공기계, 농식품가공 스마트공장